



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 3

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE SIMULADOR WEB PARA
ESTIMATIVA DE GANHO DE PASSAGEIROS EM PROJETOS OPERACIONAIS
FERROVIÁRIOS

INTRODUÇÃO

A tomada de decisão no planejamento operacional ferroviário exige, cada vez mais, o uso de ferramentas analíticas capazes de quantificar impactos antes da implantação de mudanças na operação. Em sistemas metropolitanos de transporte sobre trilhos, alterações de grade horária, redução de intervalos entre trens, ajustes no tempo de percurso e reorganização da oferta podem produzir efeitos relevantes sobre a atratividade do serviço e, consequentemente, sobre a demanda transportada.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Essas decisões, entretanto, envolvem elevado grau de complexidade. A ampliação da oferta ferroviária não se resume ao aumento do número de viagens. Ela pode impactar a utilização da frota, a programação dos trens, a capacidade da infraestrutura, os custos operacionais, os horários de manutenção, a escala das equipes e a regularidade do serviço. Por esse motivo, torna-se necessário avaliar previamente se a melhoria operacional proposta possui potencial de gerar ganho de passageiros suficiente para justificar sua implantação.

Além disso, o comportamento da demanda não ocorre de forma uniforme em todo o sistema. Uma mesma redução de intervalo pode gerar efeitos distintos conforme o ramal, a faixa horária, o sentido de circulação, o perfil de carregamento e o grau de atratividade anterior do serviço. Em períodos de maior demanda, por exemplo, a redução de intervalo tende a atuar sobre uma base de passageiros mais consolidada, podendo melhorar a percepção de frequência e confiabilidade. Já em horários de menor carregamento, o ganho pode depender de outros fatores, como regularidade da oferta, integração com outros modos, segurança percebida e tempo total de deslocamento.

Nesse contexto, foi desenvolvido um simulador web para estimativa de ganho de passageiros associado a melhorias operacionais no sistema ferroviário da TrensRJ. A ferramenta tem como finalidade apoiar estudos de planejamento, avaliação de cenários



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

e tomada de decisão, permitindo estimar, de forma estruturada, os impactos potenciais de alterações como redução de intervalo entre trens e redução de tempo de percurso.

O simulador consolida informações históricas de demanda por ramal, faixa horária e sentido operacional, aplica parâmetros de sensibilidade da demanda e gera resultados comparáveis entre diferentes cenários. A partir das premissas definidas pelo usuário, a ferramenta calcula o ganho estimado de passageiros, separando os efeitos relacionados ao intervalo e ao tempo de viagem, além de consolidar o resultado total do cenário avaliado.

A solução foi concebida para substituir processos manuais e dispersos, anteriormente apoiados em planilhas, por uma aplicação integrada, rastreável e reutilizável. O sistema permite selecionar o ramal, configurar premissas operacionais, aplicar reduções por horário e sentido, salvar cenários, carregar simulações anteriores, exportar resultados e consolidar projeções com aplicação de ramp-up. Neste trabalho, o termo ramp-up é utilizado como a curva gradual de maturação da demanda, representando o fato de que o ganho potencial de passageiros não ocorre integralmente no primeiro mês após a implantação, mas tende a se materializar progressivamente ao longo do tempo.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 1 – Fluxo lógico do simulador de ganho de passageiros. Fonte: Elaborado pelos autores.

Do ponto de vista tecnológico, a aplicação foi desenvolvida internamente utilizando backend em Python/FastAPI, frontend em HTML, CSS e JavaScript, além de integração com banco de dados SQL Server para armazenamento estruturado das informações operacionais e dos cenários simulados. Essa arquitetura permitiu centralizar a regra de cálculo, padronizar o tratamento das informações e facilitar o uso da ferramenta em ambiente corporativo.

A modelagem do simulador foi estruturada com base em análises estatísticas e modelos de regressão, utilizados para definição dos fatores de sensibilidade da demanda frente às alterações operacionais simuladas. Dessa forma, a ferramenta busca representar matematicamente o comportamento esperado dos passageiros diante de melhorias de oferta, especialmente aquelas associadas à redução de intervalo entre trens e à diminuição do tempo de viagem.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Além do uso operacional direto, o simulador também passou a contribuir para o aprimoramento de análises econométricas de demanda. Ao estruturar os efeitos esperados de melhorias de oferta e permitir sua comparação com resultados observados após a implantação, a ferramenta fornece insumos para avaliação de aderência dos modelos, calibração de premissas e construção de projeções mais consistentes da curva de passageiros.

A aplicação prática do simulador ocorreu em estudos reais de alteração de grade horária, nos quais a ferramenta foi utilizada para estimar previamente o potencial de captação de passageiros decorrente de melhorias operacionais. Um dos principais casos analisados envolveu a proposta de nova grade para os ramais Belford Roxo e Gramacho. Nesse estudo, o simulador apoiou a avaliação de uma reestruturação da oferta, considerando aumento de viagens, redução de intervalos, ganho de tempo de percurso e aplicação de curva de maturação da demanda.

A proposta operacional previa, para Belford Roxo, o aumento de 10 viagens, passando de 66 para 76 viagens diárias, com redução do intervalo médio no pico de fluxo de aproximadamente 23 minutos para 15 minutos. No vale diurno, a proposta reduzia intervalos médios de cerca de 43 minutos para patamares entre 30 e 35 minutos. Também foi considerada redução de até 5 minutos no tempo de percurso. Para



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Gramacho, a proposta previa acréscimo de 2 viagens, passando de 124 para 126, com ganho de mais uma hora de pico matutino, entre 5h45 e 6h45, com intervalos reduzidos de 12 minutos.

A utilização do simulador nesse estudo permitiu transformar essas premissas operacionais em estimativa quantitativa de ganho de passageiros. O modelo indicou potencial de captação de 9.247 passageiros, sendo 5.351 associados ao ramal Belford Roxo e 3.896 ao ramal Gramacho. Como o ganho de demanda não tende a ocorrer integralmente no momento da implantação, foi aplicada uma curva de ramp-up ao longo de 2026, representando a maturação gradual da resposta dos usuários à melhoria de oferta.



Figura 2 – Encadeamento lógico do estudo de caso aplicado à nova grade Belford Roxo/Gramacho. Fonte: Elaborado pelos autores.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Esse tipo de aplicação evidencia que o principal resultado do projeto não está apenas no desenvolvimento de uma solução web, mas na criação de um método estruturado para transformar premissas operacionais em estimativas quantitativas de demanda. Com isso, o simulador atua como ferramenta de apoio ao planejamento ferroviário, à priorização de projetos, à avaliação de impacto de mudanças de grade e à tomada de decisão baseada em dados.

DIAGNÓSTICO

Antes do desenvolvimento do simulador, a avaliação dos impactos de alterações operacionais sobre a demanda era realizada de forma predominantemente manual, com forte dependência de planilhas, consultas pontuais e consolidações específicas para cada estudo. Embora esse modelo fosse funcional para análises isoladas, apresentava limitações importantes quando aplicado a cenários mais complexos, recorrentes ou com necessidade de comparação entre alternativas.

Como resposta a esse contexto, foi desenvolvida uma aplicação web capaz de concentrar, em uma única interface, as principais etapas da análise: seleção do ramal, configuração de cenários, aplicação de parâmetros operacionais, importação da base de passageiros, cálculo dos ganhos estimados e visualização da matriz horária. A Figura 3



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

apresenta a tela principal do simulador, evidenciando sua organização em módulos funcionais e a centralização das informações necessárias para a construção dos cenários operacionais.

Simulador de Ganho de Passageiros

Botões: Salvar Cenário, Carregar Cenário, Apagar Cenário Atual, Exportar CSV, Exportar XLSX

Formulário:

- Linha: Belford Roxo
- Cenário: Ex.: Ganho Pico Manhã
- Buscar Cenário: Nome do cenário
- Projeto:
- Previsão:
- Rota:

Aplicar em Massa:

- Intervalo: 5
- Hora Inicial:
- Hora Final:
- Sentido: Ambos
- Valor: 2

Importar Base de Passageiros:

Importar: Nenhum arquivo escolhido

Matriz Horária

Hora	Pax Base Inj.	Pax Base Par	Red. Intervalo Inj.	Red. Intervalo Par	Red. Tempo Inj.	Red. Tempo Par	Ganho Int. Inj.	Ganho Int. Par	Ganho Temp. Inj.	Ganho Temp. Par	Ganho Total Inj.	Ganho Total Par	Ganho Hora
00:00 - 00:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 01:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 02:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 03:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 04:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 05:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00 - 06:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00 - 07:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00 - 08:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09:00 - 09:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00 - 10:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00 - 11:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00 - 12:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00 - 13:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00 - 14:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00 - 15:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00 - 16:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00 - 17:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00 - 18:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00 - 19:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00 - 20:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 - 21:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 - 22:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 - 23:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24:00 - 24:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ganho por Hora

Intervalo x Tempo

Figura 3 – Interface geral do simulador web para estimativa de ganho de passageiros.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A tela principal do sistema foi estruturada para permitir que o usuário visualize, de forma integrada, os campos de parametrização do cenário, os indicadores consolidados



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

de ganho, a aplicação massiva de reduções de intervalo ou tempo de percurso, a importação da base histórica e a matriz horária de cálculo. Essa organização reduz a dispersão de informações, facilita a comparação entre cenários e torna o processo de simulação mais rastreável.

A primeira limitação do processo anterior estava relacionada à baixa padronização do processo analítico. Cada novo estudo exigia a preparação de bases, aplicação manual de premissas, revisão de fórmulas, conferência de resultados e consolidação específica dos cenários avaliados. Pequenas alterações nos parâmetros, como mudança no percentual de redução de intervalo ou alteração na faixa horária considerada, podiam demandar nova rodada de tratamento manual dos dados. Esse processo aumentava o tempo de análise, elevava o risco de inconsistências e dificultava o reaproveitamento de estudos anteriores.

A segunda limitação estava associada à rastreabilidade das premissas. Em estudos de mudança de grade, diferentes alternativas podem ser avaliadas simultaneamente, cada uma com premissas próprias de intervalo, tempo de percurso, ramal, sentido, frota, período do dia e horizonte de maturação da demanda. Sem um ambiente estruturado para registro desses cenários, a comparação entre alternativas ficava mais vulnerável a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

perdas de informação, versões divergentes de arquivos e dificuldade de reconstrução posterior da lógica utilizada.

A terceira limitação dizia respeito à granularidade da demanda ferroviária. O comportamento dos passageiros varia significativamente por ramal, horário e sentido de circulação. Uma redução de intervalo no pico da manhã pode ter impacto diferente de uma redução aplicada no meio do dia. Da mesma forma, uma melhoria no sentido de maior fluxo pode gerar efeito distinto daquele observado no contrafluxo. Portanto, uma análise agregada da demanda, sem segmentação adequada, poderia superestimar ou subestimar os benefícios esperados de uma intervenção operacional.

Matriz Horária						
Hora	Pax Base Ímpar	Pax Base Par	Red. Intervalo Ímpar	Red. Intervalo Par	Red. Tempo Ímpar	Red. Tempo Par
00:00 - 00:59	0	0	0	0	0	0
01:00 - 01:59	0	0	0	0	0	0
02:00 - 02:59	0	0	0	0	0	0
03:00 - 03:59	0	0	0	0	0	0
04:00 - 04:59	3	530	0	0	0	0
05:00 - 05:59	66	1.535	0	0	0	0
06:00 - 06:59	88	1.927	0	0	0	0
07:00 - 07:59	131	1.537	0	0	0	0
08:00 - 08:59	95	806	0	0	0	0
09:00 - 09:59	142	364	0	0	0	0
10:00 - 10:59	181	281	0	0	0	0
11:00 - 11:59	243	255	0	0	0	0

Figura 4 – Estrutura básica de segmentação da análise. Fonte: Elaborado pelos autores.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Também havia necessidade de padronizar a avaliação dos efeitos de duas variáveis operacionais centrais: o intervalo entre trens e o tempo de percurso. Ambas influenciam a percepção de qualidade do serviço e podem afetar a escolha modal dos passageiros. A redução de intervalo pode melhorar a percepção de frequência, reduzir o tempo médio de espera e aumentar a confiabilidade percebida do sistema. A redução do tempo de percurso, por sua vez, pode tornar a viagem mais competitiva em relação a outros modos de transporte, especialmente em deslocamentos mais longos.

Entretanto, a incorporação dessas variáveis em estudos de demanda exigia uma estrutura capaz de traduzir melhorias operacionais em ganho potencial de passageiros. Não bastava comparar a oferta atual com a oferta proposta; era necessário relacionar essas alterações à base histórica transportada e a fatores de sensibilidade calibrados a partir de análises estatísticas. Essa necessidade motivou a construção de uma lógica de cálculo capaz de estimar o ganho de forma incremental, separando o efeito associado à redução de intervalo e o efeito associado à redução de tempo de viagem.

A definição dos fatores de sensibilidade empregados no simulador também se apoiou no estudo Análises e Projeções de Demanda com uso de Advanced Analytics, utilizado como referência metodológica para a compreensão da relação entre desempenho operacional e comportamento da demanda. Esse estudo identificou correlações estatisticamente relevantes entre a demanda de passageiros e variáveis como intervalo



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

médio entre trens, velocidade média e regularidade operacional. Em termos gerais, verificou-se que o aumento dos intervalos tende a se associar negativamente à demanda, enquanto melhorias nas condições operacionais, como redução do tempo de viagem e aumento da velocidade média, tendem a se associar positivamente ao volume de passageiros. Como o estudo original possuía caráter agregado, seus achados foram utilizados como base de orientação para a parametrização, posteriormente adaptada à segmentação por ramal, faixa horária e sentido operacional.

Ganho Int. Ímpar	Ganho Int. Par	Ganho Temp. Ímpar	Ganho Temp. Par	Ganho Total Ímpar	Ganho Total Par	Ganho Hora
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Figura 5 – Estrutura de cálculo dos ganhos estimados pelo simulador. Fonte: Elaborado pelos autores.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

De forma simplificada, a metodologia de cálculo parte da base histórica de passageiros segmentada por ramal, faixa horária e sentido operacional. Sobre essa base são aplicadas as premissas de melhoria operacional definidas pelo usuário, como redução de intervalo e redução de tempo de percurso. Os fatores de sensibilidade estimados por meio de análises estatísticas são então utilizados para converter essas melhorias em ganho potencial de demanda. O resultado é calculado de forma incremental, permitindo separar o ganho associado à redução de intervalo, o ganho associado à redução de tempo de viagem e o ganho total estimado para o cenário.

Outro ponto relevante identificado no diagnóstico foi a necessidade de representar a maturação gradual da demanda. Em projetos operacionais, o ganho de passageiros nem sempre ocorre imediatamente após a implantação da melhoria. Parte dos usuários pode levar tempo para perceber a alteração da grade, testar o serviço, ajustar seus hábitos de deslocamento e incorporar novamente o trem à sua rotina. Por esse motivo, a ferramenta incorporou a aplicação de ramp-up mensal, permitindo distribuir o ganho estimado ao longo de um horizonte definido e construir uma curva mais realista de crescimento.

Essa funcionalidade é especialmente importante para análises de projeção de demanda e modelos econométricos. Sem a aplicação de uma curva de maturação, todo o ganho



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

estimado poderia ser incorporado de forma imediata, gerando uma projeção artificialmente concentrada no primeiro mês. Ao distribuir o crescimento ao longo do tempo, o simulador permite representar melhor a dinâmica esperada de resposta dos passageiros às melhorias operacionais.

Resumo por Cenário

Cenário

Cenário 1

Carregar Resumo

Limpar Resumo

Planejamento (%) Alcançado (ramp-up)

Cenário	Ramais	Projeto	Premissa	Ganho total em	M + 0	M + 1	M + 2	M + 3	M + 4	M + 5	M + 6	M + 7	M + 8	M + 9	M + 10	M + 11	M + 12
Ramp-up (%)					5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65

Figura 6 – Interface do planejamento alcançado (ramp-up). Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir desse diagnóstico, o simulador foi desenvolvido com foco em quatro necessidades principais: estruturar a base de passageiros por ramal, hora e sentido; permitir a parametrização flexível de melhorias operacionais; calcular automaticamente os ganhos estimados por tipo de melhoria; e armazenar cenários para consulta, comparação e exportação.

A ferramenta foi implementada como uma aplicação web, com backend em Python/FastAPI, frontend em HTML, CSS e JavaScript e integração com banco de dados SQL Server. Essa arquitetura permitiu separar a camada de apresentação da lógica de cálculo, garantir maior organização do processo analítico e armazenar os cenários simulados de forma estruturada.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

No uso prático, o simulador permite o carregamento automático da base histórica de passageiros, a seleção do ramal a ser analisado e a parametrização das reduções de intervalo e tempo de percurso por faixa horária e sentido. A ferramenta também permite aplicação massiva de premissas operacionais, o que reduz o tempo necessário para testar cenários com múltiplos horários ou diferentes períodos do dia.

Além disso, o sistema calcula separadamente o ganho por intervalo, o ganho por tempo de percurso e o ganho total. Essa separação é relevante porque permite ao analista compreender qual componente da melhoria operacional possui maior contribuição sobre o resultado estimado. Em alguns cenários, o principal efeito pode estar associado à redução do intervalo; em outros, a redução do tempo de viagem pode ser o elemento mais relevante. Essa distinção amplia a capacidade de análise e contribui para decisões mais bem fundamentadas.

O simulador também contempla funcionalidades de salvamento e carregamento de cenários, exportação dos resultados em CSV e XLSX, importação e atualização da base de passageiros, visualização gráfica dos impactos por horário, consolidação de cenários em resumo comparativo e aplicação de ramp-up mensal para projeção gradual do ganho esperado.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Dessa forma, o simulador respondeu a uma lacuna operacional e analítica: transformar uma avaliação antes fragmentada em um processo padronizado, transparente e replicável. Ao integrar dados históricos, premissas operacionais e fatores de sensibilidade da demanda, a ferramenta passou a oferecer maior suporte técnico para decisões relacionadas à grade horária, aumento de oferta, redução de intervalos e avaliação de projetos de melhoria operacional.

O caso Belford Roxo/Gramacho, implantado em fevereiro de 2026, exemplifica a necessidade de uma ferramenta estruturada para apoiar decisões de alteração de grade. A proposta envolvia diferentes tipos de benefício operacional, com impactos distintos sobre a demanda: aumento de viagens, redução de intervalo no pico, redução de intervalo no vale, ampliação da oferta em faixa horária específica e redução de tempo de percurso. Em uma análise manual, a combinação desses fatores exigiria múltiplas planilhas, tratamento por faixa horária, controle de versões e cálculos separados para cada ramal e sentido operacional.

Além disso, a decisão de alterar a grade exigia avaliação não apenas do benefício esperado, mas também do esforço operacional necessário. O estudo de viabilidade apresentado indicava um aumento marginal de carro.km de aproximadamente 0,8%, calculado a partir das viagens adicionais de Belford Roxo e Gramacho. Dessa forma, a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

análise precisava comparar o incremento de oferta com o potencial de captação de passageiros, permitindo avaliar se a melhoria operacional apresentava relação favorável entre esforço produtivo e benefício esperado.

Esse tipo de situação reforça o papel do simulador como ferramenta de apoio à decisão. Ao estruturar as premissas por ramal, faixa horária e sentido, o sistema permite estimar o ganho associado a cada componente da proposta, consolidar o resultado total e aplicar uma curva de maturação da demanda. Com isso, a análise deixa de depender apenas da comparação visual entre grades e passa a incorporar uma estimativa quantitativa do impacto esperado sobre os passageiros.



Figura 7 – Principais premissas operacionais da proposta de nova grade. Fonte: Elaborado pelos autores com base no estudo de grade.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Outro ganho relevante foi a possibilidade de comparar cenários de forma mais estruturada. A partir do armazenamento das simulações, tornou-se possível recuperar premissas anteriores, revisar hipóteses, comparar alternativas e documentar a lógica utilizada em cada estudo. Essa funcionalidade reduz a dependência de arquivos isolados e contribui para maior governança do processo decisório.

Por fim, o diagnóstico também apontou a importância de aproximar as áreas de planejamento operacional, inteligência de mercado e modelagem econométrica. A alteração de grade é uma decisão operacional, mas seus efeitos repercutem diretamente na curva de passageiros, nas projeções de demanda e na avaliação de resultados da companhia. O simulador passou a atuar justamente nessa interface, transformando premissas de oferta em estimativas estruturadas de demanda e permitindo que os resultados fossem posteriormente comparados com o realizado.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados foi estruturada a partir da aplicação prática do simulador em estudo real de alteração de grade em fevereiro de 2026, considerando a proposta de nova programação para os ramais Belford Roxo e Gramacho. O objetivo da simulação



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

foi estimar o potencial de ganho de passageiros decorrente da redução de intervalos, do aumento de viagens e da melhoria do tempo de percurso, oferecendo suporte quantitativo à decisão operacional.

No caso de Belford Roxo, a proposta previa aumento de 10 viagens, passando de 66 para 76 viagens diárias. A principal melhoria operacional estava concentrada na redução do intervalo médio no pico de fluxo, de aproximadamente 23 minutos para 15 minutos, além da redução dos intervalos no vale diurno, de cerca de 43 minutos para patamares entre 30 e 35 minutos. A proposta também considerava redução de até 5 minutos no tempo de percurso do ramal, reforçando o ganho de atratividade do serviço.

No caso de Gramacho, a proposta previa aumento de 2 viagens, passando de 124 para 126 viagens, com ampliação de mais uma hora de pico matutino no sentido de fluxo. A faixa entre 5h45 e 6h45 passaria a operar com intervalos reduzidos de 12 minutos. A proposta não alterava o horário e o serviço no trecho Gramacho–Saracuruna nem nas extensões Vila Inhomirim e Guapimirim, concentrando o benefício na melhoria de oferta do trecho principal analisado.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

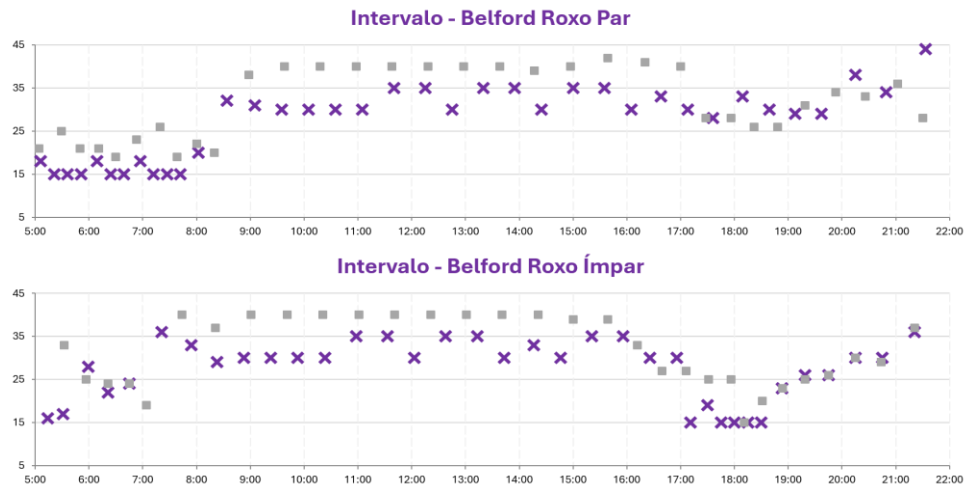


Figura 8 – Comparação dos intervalos atuais e propostos no ramal Belford Roxo.

Fonte: Estudo interno de nova grade Belford Roxo/Gramacho.

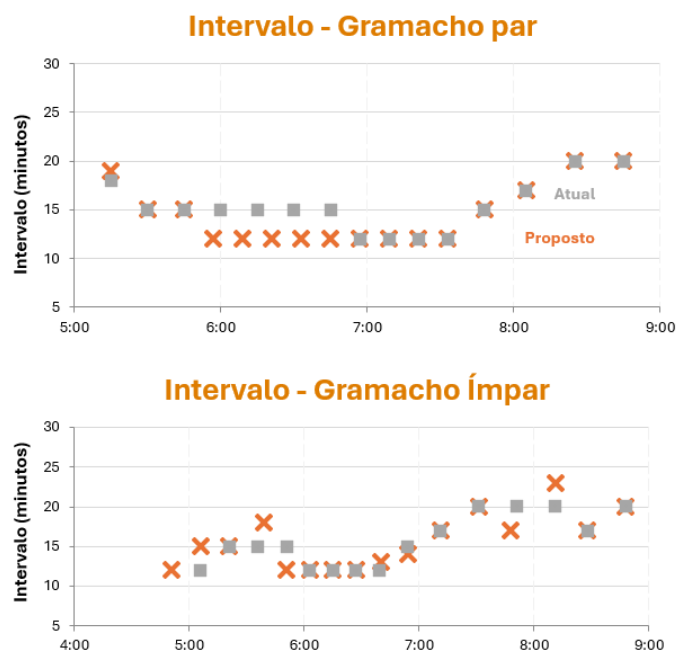


Figura 9 – Comparação dos intervalos atuais e propostos no ramal Gramacho. Fonte:

Estudo interno de nova grade Belford Roxo/Gramacho.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A partir dessas premissas, o simulador estimou potencial total de captação de 9.247 passageiros. Desse total, 5.351 passageiros estavam associados às melhorias previstas em Belford Roxo, principalmente em função da redução média de 6 minutos nos intervalos de pico e de 8 minutos nos intervalos de vale. Para Gramacho, o ganho potencial estimado foi de 3.896 passageiros, associado ao ganho médio de 3 minutos de intervalo na faixa das 6h, no sentido par.

Como a resposta dos passageiros às melhorias operacionais tende a ocorrer de forma gradual, o estudo aplicou uma curva de ramp-up ao longo de 2026. A premissa adotada considerou início de maturação em fevereiro, com 5% do ganho potencial, avançando progressivamente para 50% em dezembro. Dessa forma, o ganho total projetado evoluiria de 462 passageiros em fevereiro para 4.624 passageiros em dezembro, representando metade do potencial total estimado ao final do ano.

Resumo por Cenário

Cenário

cenário 0

Carregar Resumo

Limpar Resumo

Planejamento (%) Alcançado (ramp-up)

Cenário	Ramais	Projeto	Premissa	Ganho total em	M + 0	M + 1	M + 2	M + 3	M + 4	M + 5	M + 6	M + 7	M + 8	M + 9	M + 10	M + 11	M + 12
Ramp-up (%)					5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Cenário	Ramais	Projeto	Premissa	Ganho total em	Fev/26	Mar/26	Abr/26	Mai/26	Jun/26	Jul/26	Ago/26	Set/26	Out/26	Nov/26	Dez/26	Jan/27	Fev/27
cenário 0	Gramacho		Ganho médio de -6min de intervalo nos picos e de -8 no vale	3.896	195	390	584	779	974	1.169	1.363	1.558	1.753	1.948	2.143	2.337	2.532
cenário 0	Belford Roxo		Ganho médio de -6min de intervalo nos picos e de -8 no vale	5.351	268	535	803	1.070	1.338	1.605	1.873	2.400	2.408	2.675	2.943	3.210	3.478
Total				9.246	462	925	1.387	1.849	2.312	2.774	3.236	3.698	4.161	4.623	5.085	5.548	6.010



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Figura 10 – Potencial de captação estimado pelo simulador. Fonte: Simulador de ganho de passageiros.

O resultado observado após a implantação apresentou comportamento aderente à projeção do simulador. A comparação entre o ganho estimado e o ganho real mostra proximidade relevante nos primeiros meses de maturação. Em fevereiro, o simulador projetava ganho de 462 passageiros, enquanto o ganho real observado foi de aproximadamente 460 passageiros. Em maio, a projeção era de 1.849 passageiros, contra ganho real de aproximadamente 1.835 passageiros. Em julho, a projeção indicava 2.774 passageiros, enquanto o resultado real foi de aproximadamente 2.805 passageiros.

Ao considerar os dados disponíveis entre fevereiro e julho, o erro percentual absoluto médio preliminar ficou próximo de 7%, desconsiderando janeiro por se tratar de mês-base. Esse resultado indica boa aderência entre a curva projetada e a evolução real observada, especialmente considerando que a demanda ferroviária pode ser influenciada por fatores externos, como calendário, sazonalidade, condições econômicas, eventos, clima, funcionamento de outros modos de transporte e percepção dos usuários sobre a nova oferta.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

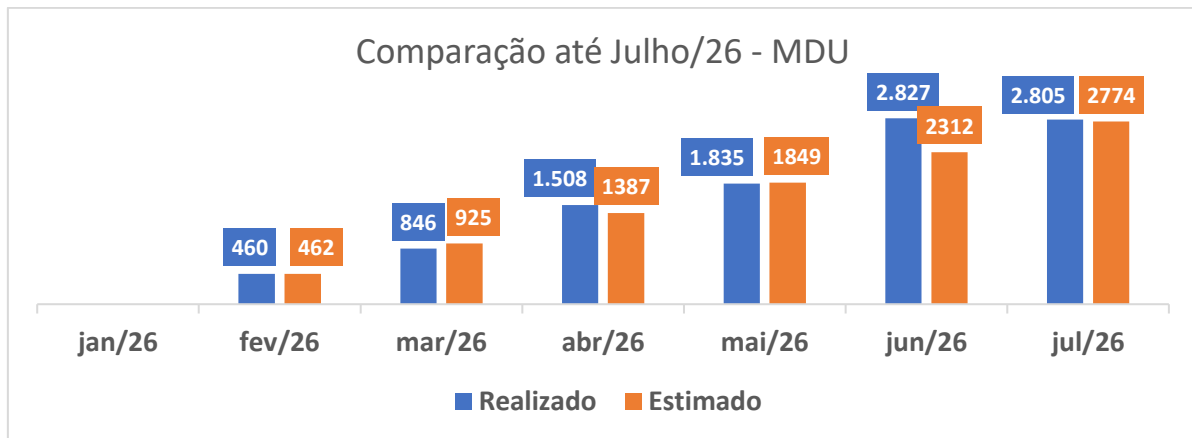


Figura 11 – Comparação entre ganho estimado pelo simulador e ganho real

observado. Fonte: Elaborado pelos autores com base no acompanhamento de demanda.

Além da comparação direta entre ganho estimado e ganho real, a apresentação dos resultados em base 100 permite avaliar o comportamento dos ramais impactados em relação aos demais ramais do sistema. Considerando janeiro como base 100, Belford Roxo apresentou crescimento superior ao conjunto dos demais ramais ao longo do período observado. Em julho, Belford Roxo alcançou índice aproximado de 133,1, Saracuruna/Gramacho alcançou aproximadamente 116,9, enquanto os demais ramais alcançaram cerca de 113,6. Essa comparação sugere que os ramais impactados pela alteração de grade apresentaram desempenho compatível com o efeito esperado da melhoria operacional.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

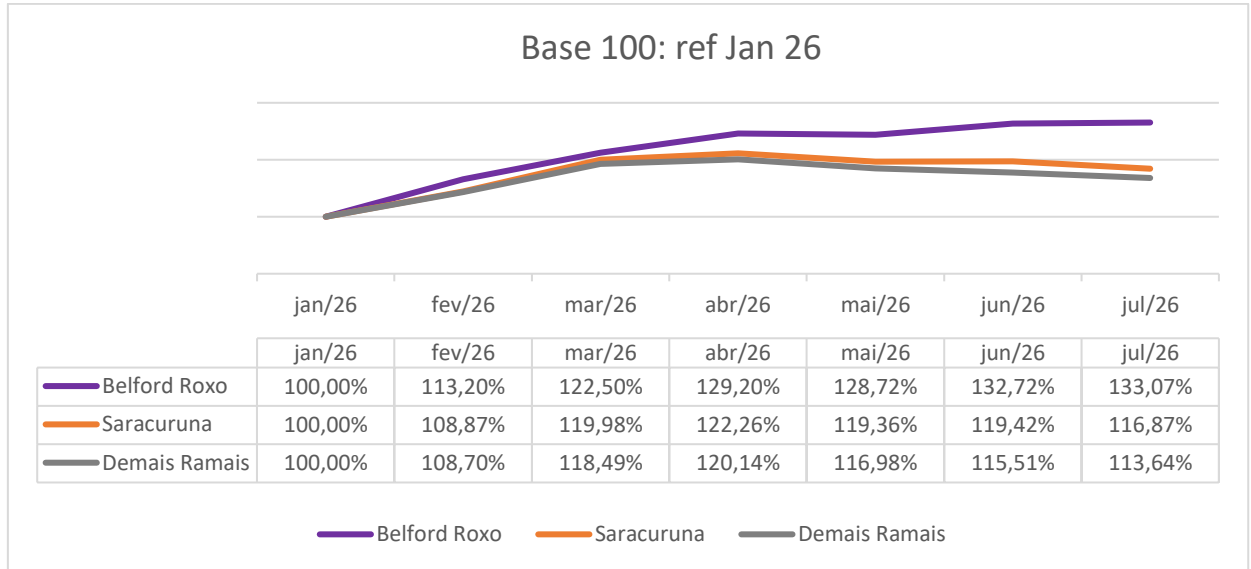


Figura 12 – Evolução da demanda em base 100 após a implantação da nova grade.

Fonte: Elaborado pelos autores com base no acompanhamento de demanda.

É importante destacar que a análise em base 100 não elimina todos os fatores externos que podem afetar a demanda, mas funciona como uma referência comparativa relevante. Ao comparar os ramais impactados com os demais ramais, torna-se possível observar se a evolução da demanda foi superior, semelhante ou inferior ao comportamento geral do sistema. No caso analisado, o desempenho de Belford Roxo ficou acima dos demais ramais, reforçando a hipótese de que a melhoria operacional contribuiu para o crescimento observado.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O estudo também considerou a evolução do tempo de percurso no trecho Gramacho. A análise de distribuição acumulada pré e pós-grade indicou deslocamento da curva para a esquerda, sugerindo viagens mais rápidas, e maior inclinação da curva, indicando menor dispersão dos dados e operação mais previsível. Essa evidência complementa a análise de demanda, pois demonstra que a alteração de grade não esteve associada apenas ao aumento de oferta, mas também à melhoria de desempenho operacional percebida pelo usuário.

Distribuição Acumulada de Tempo de Percurso: Pré vs. Pós-Grade

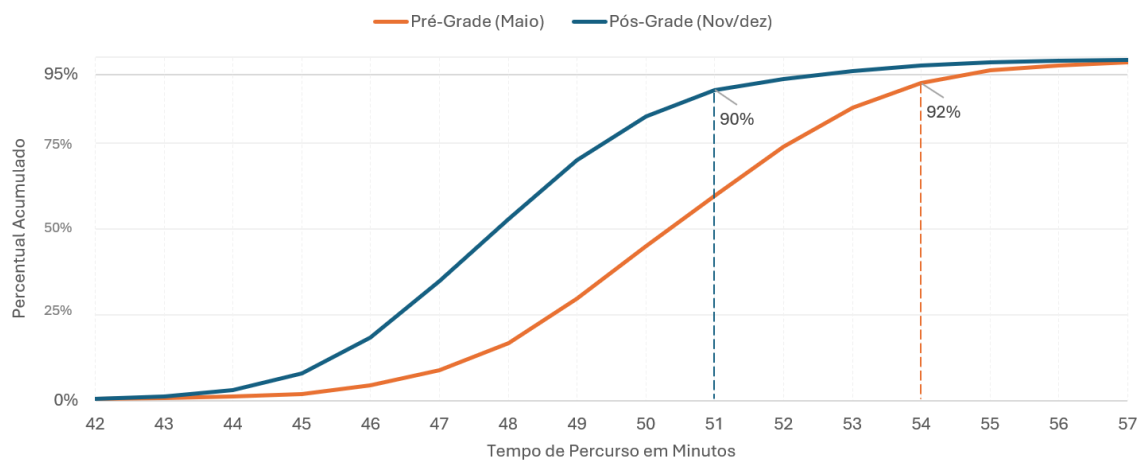


Figura 13 – Distribuição acumulada do tempo de percurso em Gramacho: pré e pós-grade. Fonte: Estudo interno de nova grade Belford Roxo/Gramacho.

Outro aspecto relevante do estudo foi a relação entre ganho de passageiros e incremento de produção. A proposta indicava aumento marginal de aproximadamente



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

0,8% em carro.km, calculado a partir das viagens adicionais de Belford Roxo e Gramacho. Esse dado reforça a eficiência da intervenção, pois o ganho potencial de passageiros foi estimado a partir de uma ampliação relativamente controlada da produção operacional. Dessa forma, o simulador contribuiu não apenas para estimar o crescimento de demanda, mas também para subsidiar uma avaliação mais equilibrada entre esforço operacional e benefício esperado.

Sob a ótica econômico-financeira, também foi realizada uma avaliação marginal da nova grade. Considerando aumento de aproximadamente 2.000 carro.km por dia útil e valor contratual de R\$ 17,59 por carro.km, o incremento de produção representa cerca de R\$ 35,2 mil por dia útil. Por outro lado, considerando tarifa de R\$ 7,60 por passageiro, o ganho potencial de 9.247 passageiros representa aproximadamente R\$ 70,3 mil por dia útil em arrecadação tarifária. Na curva de ramp-up considerada para dezembro de 2026, com ganho projetado de 4.624 passageiros, a arrecadação incremental estimada é de aproximadamente R\$ 35,1 mil por dia útil, valor praticamente equivalente ao incremento marginal de remuneração por carro.km. No modelo contratual vigente, em que a remuneração ocorre por carro.km, essa arrecadação tarifária ingressa no caixa da operação e reduz a parcela a ser complementada pelo Estado por meio de subsídio.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Indicador	Resultado
Viagens adicionais em Belford Roxo	+10 viagens
Viagens adicionais em Gramacho	+2 viagens
Intervalo no pico de Belford Roxo	23' para 15'
Intervalo no vale de Belford Roxo	43' para 30/35'
Redução de tempo de percurso em Belford Roxo	até 5 minutos
Ganho potencial em Belford Roxo	5.351 passageiros
Ganho potencial em Gramacho	3.896 passageiros
Ganho potencial total	9.247 passageiros
Ramp-up em dezembro de 2026	50% do potencial
Ganho projetado em dezembro de 2026	4.624 passageiros
Incremento de carro.km	+0,8%
Receita tarifária potencial total (R\$ 7,60 por passageiro)	R\$ 70.277,20 por dia útil
Incremento de remuneração por carro.km (R\$ 17,59 por carro.km)	R\$ 35.180,00 por dia útil
Receita tarifária projetada em dezembro de 2026 (4.624 pax)	R\$ 35.142,40 por dia útil

Figura 14 – Síntese operacional e analítica do caso Belford Roxo/Gramacho. Fonte:
Elaborado pelos autores com base no estudo de grade.

A aplicação do simulador no caso Belford Roxo/Gramacho demonstrou sua utilidade como ferramenta de apoio à decisão. A estimativa de ganho de passageiros foi utilizada antes da implantação, permitindo avaliar o potencial de retorno da alteração de grade. Após a implantação, o acompanhamento da demanda indicou aderência entre o projetado e o realizado, fortalecendo a confiança na metodologia aplicada.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Além disso, os resultados do simulador foram utilizados como insumo para o modelo econométrico da curva de passageiros. Essa integração permitiu incorporar o efeito esperado de uma intervenção operacional específica à projeção de demanda, evitando que todo o crescimento fosse interpretado apenas como variação orgânica ou macroeconômica. Dessa forma, o simulador contribuiu para separar, de maneira mais estruturada, o crescimento associado a melhorias de oferta do crescimento decorrente de outros fatores externos.

Integração entre simulador e modelo econométrico

Fluxo de incorporação dos efeitos operacionais na projeção de demanda

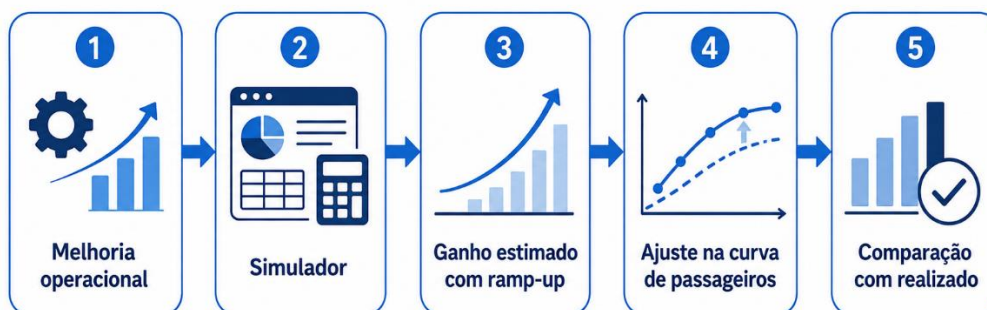


Figura 15 – Integração entre o simulador operacional e o modelo econométrico de passageiros. Fonte: Elaborado pelos autores.

Portanto, o estudo de caso evidencia que a ferramenta possui aplicação prática em decisões reais de planejamento ferroviário. O simulador permitiu quantificar previamente o impacto esperado, apoiar a decisão de alteração da grade, acompanhar



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

a aderência após a implantação e fornecer insumos para projeções de demanda. Essa sequência fortalece o uso da ferramenta como metodologia replicável para avaliação de futuros projetos operacionais.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do simulador web representou um avanço na forma de avaliar os impactos de melhorias operacionais sobre a demanda ferroviária. A ferramenta permitiu estruturar dados históricos, padronizar premissas, simular cenários e estimar ganhos potenciais de passageiros de maneira mais rápida, organizada e rastreável.

A principal contribuição do projeto está na criação de um método estruturado para transformar alterações operacionais em estimativas quantitativas de demanda. Ao integrar base histórica de passageiros, fatores de sensibilidade, parâmetros de intervalo, tempo de percurso e aplicação de ramp-up, o simulador ampliou a capacidade de análise das áreas envolvidas no planejamento e na avaliação de projetos operacionais.

A aplicação prática do simulador no estudo da nova grade Belford Roxo/Gramacho demonstrou que a ferramenta pode apoiar decisões operacionais com impacto real sobre a demanda. A proposta analisada envolveu aumento de viagens, redução de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

intervalos, ganho de tempo de percurso e ampliação de oferta em faixa horária específica. A partir dessas premissas, o simulador estimou potencial de captação de 9.247 passageiros, distribuído em uma curva de ramp-up ao longo de 2026.

O acompanhamento posterior indicou boa aderência entre o ganho projetado e o ganho observado. Entre fevereiro e julho, a comparação preliminar entre estimado e realizado apresentou erro percentual absoluto médio próximo de 7%, desconsiderando janeiro por se tratar de mês-base. Além disso, a evolução em base 100 mostrou desempenho superior de Belford Roxo em relação aos demais ramais, reforçando a consistência da melhoria operacional implantada.

Outro ponto relevante foi o fato de a proposta apresentar aumento marginal de aproximadamente 0,8% em carro.km. Esse resultado indica que a ferramenta pode contribuir não apenas para estimar ganho de passageiros, mas também para apoiar avaliações de eficiência operacional, comparando o benefício esperado com o esforço adicional de produção.

Do ponto de vista econômico-financeiro, a análise também indicou relação favorável entre o ganho estimado de passageiros e o esforço adicional de produção. Considerando a tarifa de R\$ 7,60 por passageiro, o ganho projetado no ramp-up de dezembro de 2026 representa cerca de R\$ 35,1 mil por dia útil em arrecadação tarifária, valor próximo ao



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

incremento estimado de remuneração por carro.km, de aproximadamente R\$ 35,2 mil por dia útil.

Além disso, a ferramenta ampliou a integração entre planejamento operacional, inteligência de mercado e modelagem econométrica, oferecendo uma base estruturada para avaliar a relação entre melhorias de oferta e variação de demanda. Com isso, o simulador não apenas apoia decisões pontuais de grade, mas também contribui para o aprimoramento contínuo dos modelos de previsão e análise de passageiros.

Dessa forma, o principal resultado do projeto não foi apenas o desenvolvimento de uma aplicação web, mas a criação de uma metodologia estruturada para transformar alterações operacionais em estimativas quantitativas de demanda. O simulador apoiou a decisão de alteração de grade, permitiu acompanhar a aderência do resultado real e passou a fornecer insumos para o aprimoramento do modelo econométrico de passageiros.

Assim, o simulador consolida-se como uma ferramenta aplicada de inteligência analítica para o planejamento ferroviário, conectando melhorias operacionais,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

estimativas de demanda, validação empírica e projeções econométricas em um processo único, rastreável e orientado por dados.

Como evolução futura, recomenda-se ampliar a base de validação com novos casos reais, consolidar indicadores formais de aderência entre previsto e realizado, incorporar variáveis externas de controle e desenvolver painéis comparativos permanentes para acompanhamento dos cenários simulados. Com essas melhorias, o simulador poderá se consolidar como instrumento estratégico de planejamento, priorização de projetos e avaliação de impactos operacionais no setor metroferroviário.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ. Modelo de trabalhos técnicos da 32ª Semana de Tecnologia Metroferroviária e 13º Prêmio Tecnologia e Desenvolvimento Metroferroviários.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **Python 3 Documentation**. Documentação oficial. Acesso em: 09 jul. 2026.

MICROSOFT. **Documentação técnica do SQL Server**. Microsoft Learn. Acesso em: 09 jul. 2026.

HOFFMANN, Rodolfo. *Análise de regressão: uma introdução à econometria*. 5. ed. Piracicaba: O Autor, 2016.

BUENO, Rodrigo De Losso da Silveira. *Econometria de séries temporais*. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

FASTAPI. FastAPI Documentation. Documentação oficial. Acesso em: 09 jul. 2026.

MORETTIN, Pedro A.; TOLOI, Clélia M. C. *Análise de séries temporais*. São Paulo: Blucher.

GONÇALVES, Mirian Buss; BEZ, Etiane Terezinha; NOVAES, Antônio Galvão. Modelos econométricos aplicados à previsão de demanda por transporte interestadual de passageiros de ônibus no Brasil. *Transportes*, v. 15, n. 1, 2007.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ILOS. Análises e Projeções de Demanda com uso de Advanced Analytics: Relatório Final.

SuperVia Trens Urbanos, 2021.

Referências internas do projeto

BASE histórica de passageiros e dados operacionais internos utilizados no desenvolvimento do simulador. TrensRJ, 2026.

DOCUMENTAÇÃO técnica interna do Simulador Web para Estimativa de Ganho de Passageiros em Projetos Operacionais Ferroviários. TrensRJ, 2026.

ESTUDO interno de nova grade Belford Roxo/Gramacho. TrensRJ, 2026.

MODELOS estatísticos e econométricos internos utilizados para análise de sensibilidade operacional e projeção de demanda. TrensRJ, 2026.